

doi: 10.7690/bgzdh.2023.07.010

基于本体的空间态势信息建模研究

夏旭东, 于荣欢

(航天工程大学复杂电子系统仿真重点实验室, 北京 101416)

摘要: 针对空间态势数量繁多、复杂异构、缺乏知识层面的统一数据模型, 不利于指挥员快速准确地获取所需态势信息等问题, 提出一种基于本体的空间态势知识化建模方法。对空间态势要素进行分类, 提出空间态势本体构建五步法, 借助 Protégé 软件实现空间态势信息本体库的构建, 并以某型预警卫星为背景进行实例化。结果表明, 该方法可为进一步利用空间态势信息知识进行战场辅助决策提供基础准备。

关键词: 空间态势; 本体; 知识化; Protégé

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A

Information Modeling Research of Spatial Situation Based on Ontology

Xia Xudong, Yu Ronghuan

(Complex Electronic System Simulation Key Laboratory, Space Engineering University, Beijing 101416, China)

Abstract: Aiming at the problems of numerous, complex, heterogeneous and lack of unified data model of knowledge level of spatial situation, which is not conducive to the commander to quickly and accurately obtain the required situation information, an ontology based spatial situation knowledge-based modeling method is proposed. The space situation elements are classified, and a 5 steps method of space situation ontology construction is proposed. With the help of Protégé software, the space situation information ontology database is constructed, and is instantiated with a certain type of early warning satellite as the background. The results show that the method can provide the basic preparation for further using the spatial situation information knowledge for battlefield aided decision-making.

Keywords: spatial situation; ontology; intellectualization; Protégé

0 引言

面对当前世界新军事变革, 人类军事史上正进行着范围最为宽广、发展最为迅猛、影响最为深刻的一场变革^[1]。随着空间技术的不断发展, 空间已成为维护国家安全、打赢现代化战争的制高点, 同时也是维护国家利益拓展的重要领域^[2]。如何以更加主动的姿态保证空间优势, 进而掌握战场主动权, 是当前各军事大国的重要战略课题。

为满足现代化军事行动需求, 实现对空间态势的获取、处理、表达与应用, 进而帮助指挥员从海量复杂的空间态势中准确快速地获得战场态势信息, 首先应当对多源异构的空间态势要素进行合理建模与统一化描述。笔者采用本体技术对空间态势信息进行建模, 通过构建空间态势要素本体的类与属性, 实现对其各要素的标准化描述及可视化表达, 为进一步利用空间态势信息知识进行战场辅助决策提供基础。

1 空间态势的概念与组成

“态势”可分为“态”与“势”, 即事物的当前

状态与发展趋势^[3], 其中状态包含了事物的客观存在, 是人们对事物本身的真实感受与认识, 而趋势包含了事物的发展趋向, 既有事物本身的必然延续, 又有人们对事物发展的预测与判断。在航天领域, 空间态势则可认为是当前空间范围内空间实体部署、行动、空间环境等状态以及进程与趋势的综合描述, 是对空间信息的形式化组织与表示^[4]。

由以上空间态势概念可知, 空间态势要素可初步分为空间环境要素、空间实体要素、空间行动要素 3 大类。通过查询相关资料文献, 可分别对上述 3 类要素的组成进行总结。由于空间态势信息门类众多且关系复杂, 笔者仅提出一种分类方法, 对于未包含要素, 可按此方法根据其所属门类进行添加, 进而完成对空间态势信息知识库的完善。

空间实体要素按其组成可分为信息系统实体、地面系统实体以及武器系统实体。信息系统是指以计算机为网络核心, 具有指挥控制、侦察情报、预警探测、通信、安全保密、信息对抗等功能的军事信息系统, 主要包括: 情报侦察系统、通信系统、

收稿日期: 2023-03-07; 修回日期: 2023-04-20

作者简介: 夏旭东(1997—), 男, 陕西人, 从事空间态势可视化研究。E-mail: Xiaxudong97@qq.com。

导航定位系统、指挥控制系统、预警探测系统以及综合保障系统等；地面系统实体作为与信息系

统实体共同完成态势数据转化的重要组成部分，也应包含于空间实体概念类内；同时，空间实体中也应包含武器系统实体。空间实体要素的子概念类结构如图 1 所示。

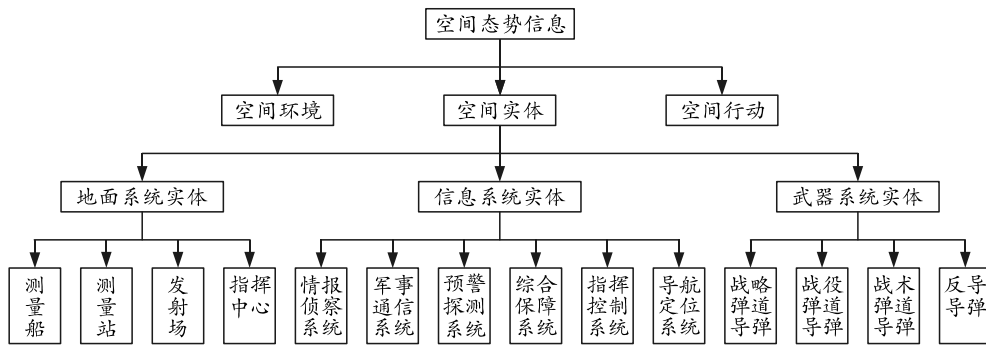


图 1 空间实体要素基本结构

空间环境要素是指宇宙中原先存在的自然要素，如高层大气、电离层、太阳风、恒星、行星及微流体等，同时也包括人类空间探索活动所产生的各类航天器、空间碎片等人工要素，从要素形成角度又可分为冲击环境、大气环境、电磁环境与轨道环境 4 个概念类。以电磁环境为例，其又可分为地球磁场、地球辐射、太阳电磁辐射、电离场以及空间高能带电粒子等。空间环境的基本结构如图 2 所示。

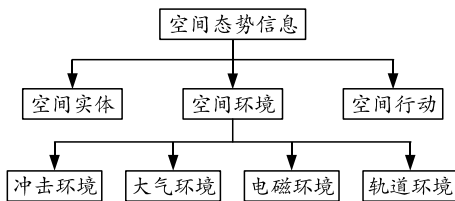


图 2 空间环境要素基本结构

空间行动是指为完成空间信息转化、遂行空间任务而进行的活动，笔者将空间行动划分为实体部署计划、空间环境预报、航天器载荷行为、通信链路建立、态势发展预估等 5 项内容，其结构如图 3 所示。

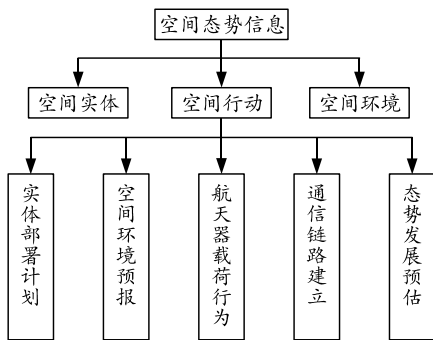


图 3 空间行动要素基本结构

对空间态势要素进行分类，是完成空间态势信息建模的基础，通过对各要素的描述与分类，有助

于厘清各类别之间的层级关系，进而完成对空间态势本体的建模。

2 空间态势本体建模

2.1 空间态势五步本体建模方法

本体(ontology)最早作为哲学概念，用于描述事物的起源与本质，能够在对客观事物的描述过程中，根据描述对象的共性将客观事物抽象为系统化的概念或专用术语^[5]。由于本体对自由标签的规范化处理有很好的效果，故而愈加频繁地被应用到各行各业中^[6]。

根据不同的研究领域与构建目的，许多学者提出了多种本体构建方法，主要包括：TOVE 法^[7]、骨架法^[8]、七步法^[9]、METHONTOLOGY 法^[10]等，通过比较分析^[11]可知，METHONTOLOGY 法多用于化学领域，骨架法和 TOVE 法在构建企业本体领域应用较多，使用复杂且成熟度不高，而七步法相较于其他方法具有成熟度较高，使用率高、条理清楚等优点，因此笔者拟采用七步法对空间态势本体进行构建。

七步法是斯坦福大学研究者提出的一种本体构建方法。其将本体构建过程分为 7 部分，各部分之间层层递进且相互联系，基本涵盖了构建过程中的所有重要流程，研究者可根据实际需要，选择适用于其领域的步骤进行分析。七步法充分体现了本体构建次序的逻辑思路，其步骤可总结如图 4 所示。

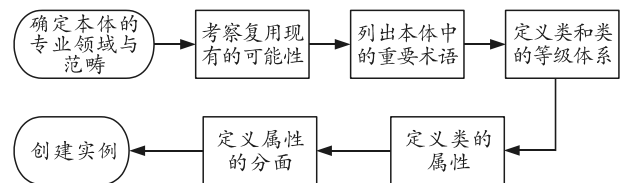


图 4 七步法具体步骤

基于七步法的构建流程，结合空间态势信息特点，提出如图 5 所示的空间态势信息本体构建流程。

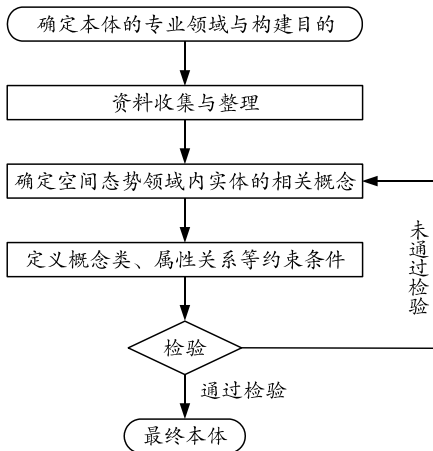


图 5 空间态势本体模型构建流程

1) 确定本体的专业领域与构建目的。空间态势信息的构建就是要确定面向对象，规范构建过程，明确应用场景，同时要确定本体的构建广度、深度、颗粒度等信息。

2) 资料收集与整理。通过查阅本领域内的书籍、文献资料等，确定是否有现有的分层体系或规范等，并通过分析不同态势要素的共性与区别，合理划分组间类别，为后续步骤做好基础准备。

3) 确定空间态势领域内实体的相关概念。在上一步收集到的领域内相关概念与知识中，选择统一的数据源，统计相关术语，从抽象中提取具体概念，包括类的概念，如：测控站类、测量船类等；属性的概念，包括对象属性和数据属性，如表 1 所示。

表 1 实例属性列表(部分)

装备实体	对象属性	数据属性
遥测卫星	轨迹坐标 (has-coordinate)	质量 (weight)
	测控能力 (has-ability)	测控范围 (range)
	状态 (has-status)	测控弧段 (segment)
		工作频率 (frequency)
导航卫星	轨迹坐标 (has-coordinate)	质量 (weight)
	导航能力 (has-ability)	导航精度 (navigation accuracy)
	状态 (has-status)	分辨率 (image resolution)
		传输速度 (transfer speed)
...

4) 定义概念类、属性的关系，值域及其他约束条件。在总结概念类的基础上，应对空间态势信息及其子类进行类的定义，同时也应对不同概念类之间、属性间的关系进行定义，包括：父子关系 (F-S)，如导航定位系统与 GPS 系统、Galileo 系统、GLONASS 系统、北斗导航系统间为父子关系；从属关系 (I-O)，如 GPS 系统与 Block I、Block II、

Block II A 等之间为从属关系，互逆关系 (RE)，如导航定位系统的“提供导航定位信息”与武器系统“接收导航定位信息”为互逆关系等。

5) 检验。通过创建示例或预构建等方式来检验模型构建是否合理，若检验通过，则可形成最终本体，若未通过检验，则需返回至第 3)、4)步，通过修改层次关系、修正概念或属性等方式进行改进，直到检验通过为止。

2.2 基于 Protégé 的空间态势本体模型构建

1) 空间态势本体类的构建。

确定本体的构建流程之后，需要对本体构建工具进行选择。合适的本体构建工具，能够大大节省构建者的时间和精力，同时也能更好地展示本体的结构与关系。在众多本体构建工具中，由斯坦福大学研究人员根据本体构建需要开发的 Protégé 软件，具有操作简单、方便使用、不需要复杂的编程语言，且对其他语言具有较好的兼容性和开放性等多重优势^[12]，是笔者的首选构建工具。

在 Protégé 软件中，“Class” 标签用于创建基本类结构。选择“Thing” 超类中添加“空间态势信息”，并在其下添加“空间实体”“空间环境”以及“空间行动” 3 个二级类，而后根据前文中的具体分类信息添加其他三级、四级和五级类。添加结果如图 6 所示。

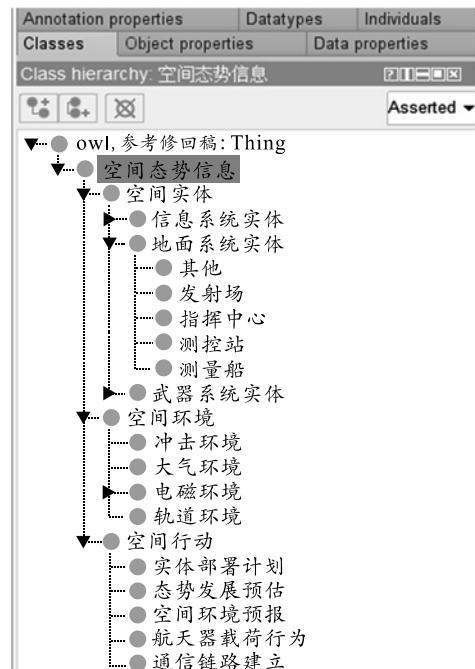


图 6 类的部分构建结果

以下代码表示部分数据属性的 OWL 形式化语言描述过程：

```

</owl:Classrdf:about=""#segment">
<rdfs:typerrdf:resource=""#Has-ability">
</owl:Class>
</owl:Classrdf:about=""#range">
<rdfs:typerrdf:resource=""#Has-ability">
</owl:Class>
</owl:Classrdf:about=""#Max speed">
<rdfs:typerrdf:resource=""#Has-ability">
</owl:Class>
...

```

2) 空间态势本体属性的构建。

在完成类的构建后，需要对概念类进行属性的补充。本体属性中的对象属性和数据属性需要分别通过“Object Properties”和“Data Properties”标签添加，在“Object Properties”中，选择建立子属性，

添加 Has-Coordinate、Has-Area、Has-ability 以及其他对象属性，在“Data Properties”标签中添加 range、Max speed、Segment 以及其他数据属性；同时，应对属性的定义域与值域进行限定，如 Has-Area 的数据格式必须是面积格式，Has-Coordinate 的数据格式必须是坐标格式，Max speed 的数据格式必须是速度格式等，如图 7 所示。

3) 空间态势本体的结构展示。

在 Protégé 中本体的类和属性构建完成后，可通过“OntoGraf”标签将本体框架显示。通过有向图的形式将空间态势本体类之间的关系进行可视化，能够帮助使用者更加直观的掌握本体组成结构，同时也能够随时添加新的本体类与属性对本体库进行扩充与完善。

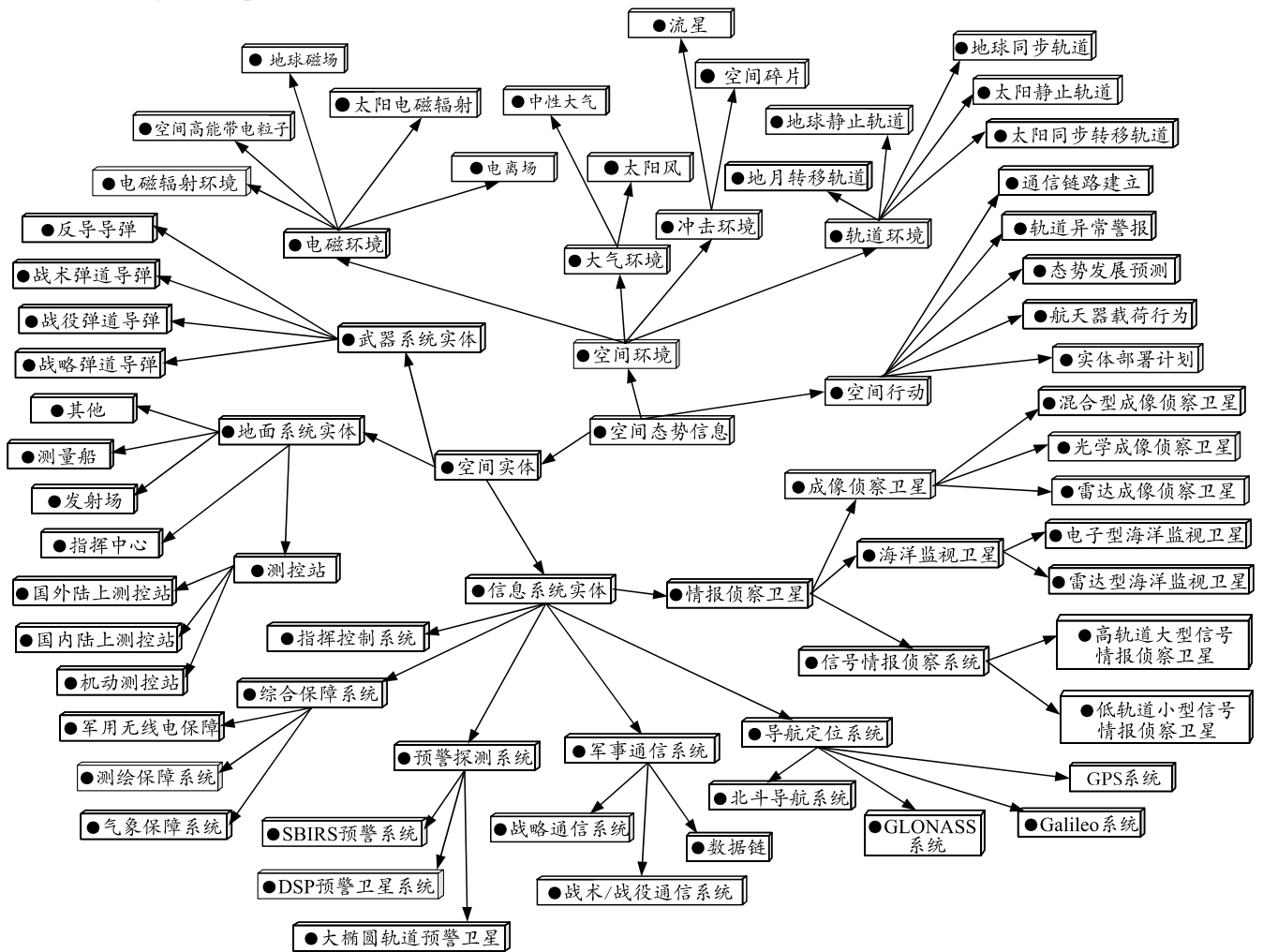


图 7 空间态势信息本体展示(部分)

2.3 某型预警卫星本体模型实例化验证

完成对空间态势本体类与属性的构建，是进行实例验证的基础。通过创建实例，能够使空间态势本体库更加完备，同时也是检验本体构建模型准确

性的有效手段。在实例创建过程中，首先需要对目标实例按照自上而下的空间态势要素层层分类，找到所属的最小概念类，进而完成本体的添加；其次根据属性要素分别创建实例的对象属性分面与数据

属性分面。属性分面的添加应尽可能地完善，从而确保本体库数据的完整性。

以创建某型 DSP 预警卫星实例为例：首先在“空间实体”中选择“信息系统实体”，在“预警探测系统”——“DSP 预警卫星系统”类中选择添加“某型预警卫星”；而后在“Object properties”与“Data properties”标签中，分别添加其对象属性与数据属性，对象属性包括“某型预警卫星—监视—战略弹道导弹”等；数据属性包括“某型预警卫星—功耗/W—1275”等。实例创建结果如图 8 所示。

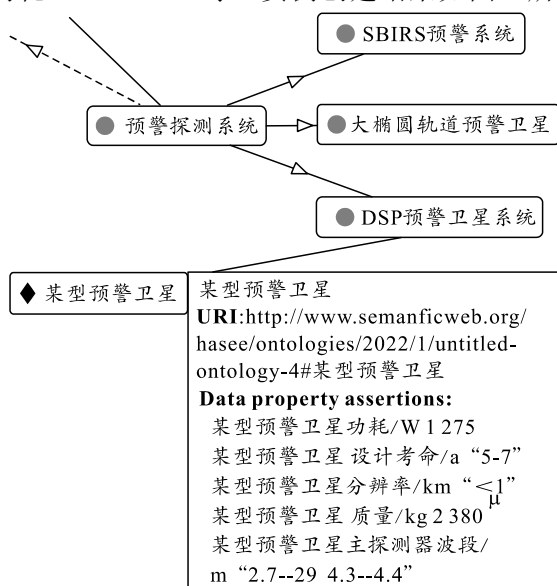


图 8 示例创建结果(部分)

3 结束语

针对当前态势信息的海量异构特点，满足指挥员在统一的态势信息要素模型框架下，快速实现对所需态势要素精准捕获的要求，笔者对空间态势信息进行分析与分类，采用本体技术对空间态势要素

进行建模，并借助 Protégé 本体建模工具对空间态势信息中的类和属性进行统一化描述，从原理和方法上实现了对各空间态势要素的整合和管理，为实现基于空间态势信息的进一步研究提供基础。

参考文献：

- [1] 高俊, 李志光, 沈昌祥. 数字化战场的基础建设[M]. 北京: 解放军出版社, 2004: 3-10
- [2] 苏宪程, 于小红, 刘震鑫. 美国空间态势感知发展分析[J]. 装备指挥技术学院学报, 2010, 21(2): 42-46.
- [3] 耿文东. 空间态势感知导论(空间态势感知系列丛书)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015: 15-18.
- [4] 秦大国, 陈小武, 李波. 空间态势计算与可视化建模[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(12): 2904-2908.
- [5] 李庆赛. 旅游领域本体构建研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2015.
- [6] 张佳宇. 基于本体的煤矿安全领域知识图谱研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2019.
- [7] GRUNINGER M. Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies[D]. Toronto: University of Toronto, 1995.
- [8] USCHOLD M, GRUNINGER M. Ontologies: Principles, methods and applications February 1996 to appear in knowledge engineering review[J]. Knowledge Engineering Review, 1996, 11(2): 93.
- [9] 阎红灿. 本体建模与语义 Web 知识发现[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [10] 杨继星, 宋重阳, 金龙哲. 基于 METHONTOL OGY 法的应急预案本体化构建[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(4): 1427-1431.
- [11] 尚新丽. 国外本体构建方法比较分析[J]. 图书情报工作, 2012, 56(4): 116-119.
- [12] 杨郑子衿, 徐倩, 王安莉. Protégé 在构建中医药本体中的应用[J]. 医学信息学杂志, 2021, 42(6): 37-42, 47.